

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-255500

(43)Date of publication of application : 21.09.2001

(51)Int.Cl.

G02F 1/017
 G02F 1/365
 H01S 5/343
 H01S 5/50
 H04B 10/28
 H04B 10/02
 H04J 14/00
 H04J 14/02

(21)Application number : 2000-067790

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 10.03.2000

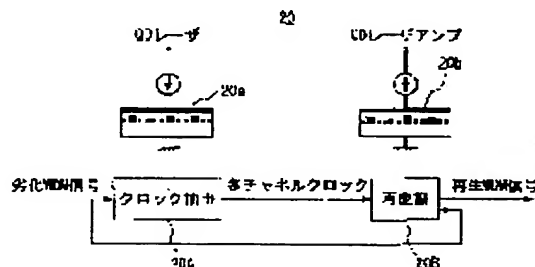
(72)Inventor : AKIYAMA TOMOYUKI

(54) WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL SIGNAL PROCESSOR, AND METHOD FOR REPRODUCING WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL SIGNAL**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To directly reproduce a wavelength multiplex optical signal without decomposing it into inputted optical signal components for an individual channel in a device for reproducing a wavelength multiplex optical signal.

SOLUTION: The wavelength multiplex optical signal is directly introduced in an activation layer of a nonlinear light semiconductor device by using the nonlinear light semiconductor device having the activation layer containing self-organizing quantum dots.

本発明の第1実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-255500

(P2001-255500A)

(43)公開日 平成13年9月21日(2001.9.21)

| (51)Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テームコード(参考) |
|--------------------------|-------|---------------|-----------------|
| G 0 2 F 1/017 | 5 0 3 | G 0 2 F 1/017 | 5 0 3 2 H 0 7 9 |
| 1/365 | | 1/365 | 2 K 0 0 2 |
| H 0 1 S 5/343 | | H 0 1 S 5/343 | 5 F 0 7 3 |
| 5/50 | 6 1 0 | 5/50 | 6 1 0 5 K 0 0 2 |
| H 0 4 B 10/28 | | H 0 4 B 9/00 | W |

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-67790(P2000-67790)

(22)出願日 平成12年3月10日(2000.3.10)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72)発明者 秋山 知之

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

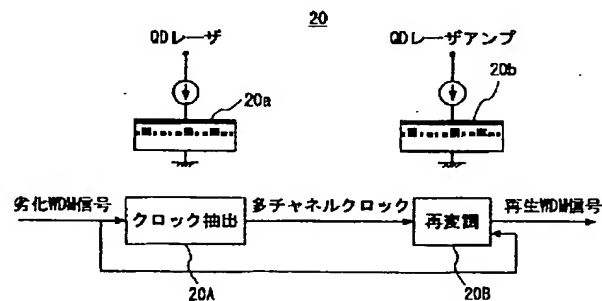
(54)【発明の名称】 波長多重光信号処理装置および波長多重光信号の再生方法

(57)【要約】

【課題】 波長多重光信号の再生装置において、前記波長多重光信号を、個々のチャネルの日光信号成分に分解することなく、直接に再生する。

【解決手段】 自己組織化量子ドットを含む活性層を有する非線形光半導体装置を使い、前記非線形光半導体装置の活性層中に前記波長多重光信号を直接に導入する。

本発明の第1実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の導電型を有する化合物半導体基板と、

前記化合物半導体基板上に形成された量子半導体装置と、

前記化合物半導体基板上に形成され、前記量子半導体装置に光学的に結合した第 1 の光導波路と、

前記化合物半導体基板上に形成され、前記量子半導体装置に光学的に結合した第 2 の光導波路とよりなり、

前記量子半導体装置は、前記化合物半導体基板上に形成された、前記第 1 の導電型を有する第 1 のクラッド層

と、前記第 1 のクラッド層上に形成された非ドープ活性層と、前記非ドープ活性層上に形成された第 2 の導電型を有する第 2 のクラッド層と、前記化合物半導体基板に電気的に接続された第 1 のオーミック電極と、前記第 2 のクラッド層に電気的に接続された第 2 のオーミック電極とよりなり、

前記第 1 の光導波路は前記活性層に光学的に結合し、入力端に供給された処理したい波長多重光入力信号を前記活性層に導波し、

前記第 2 の光導波路は前記活性層に光学的に結合し、前記活性層で処理された波長多重光出力信号を出力端に導波し、

前記非ドープ活性層は、前記第 1 および第 2 のクラッド層のいずれのバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する非ドープ化合物半導体層と、前記非ドープ化合物半導体層中に形成された、各々前記非ドープ化合物半導体層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する非ドープ化合物半導体材料よりなる複数の、相互に離間した量子ドットとよりなることを特徴とする波長多重光信号処理装置。

【請求項 2】 前記複数の量子ドットの各々は、前記化合物半導体基板に対して歪ヘテロ系を形成する組成を有することを特徴とする請求項 1 記載の波長多重光信号処理装置。

【請求項 3】 前記複数の量子ドットの各々に対応する光吸収波長帯域を有し、前記複数の量子ドットは全体として、連続的な光吸収波長帯域を有することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の波長多重光信号処理装置。

【請求項 4】 前記化合物半導体基板上には、さらに波長多重化連続波光信号を導波する第 3 の光導波路が、前記活性層に光結合して形成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のうち、いずれか一項記載の波長多重光信号処理装置。

【請求項 5】 波長多重光入力信号を供給され、前記波長多重光入力信号から光クロック信号を抽出するクロック抽出部と、

前記光クロック信号と前記波長多重光入力信号を供給され、前記光クロック信号を前記波長多重光入力信号で変調し、再生波長多重光入力信号を形成する光変調部とよ

りなる波長多重光信号処理装置において、

前記クロック抽出部は、活性層中に複数の自己組織化量子ドットを含む量子レーザダイオードよりなり、

前記光変調部は、活性層中に複数の自己組織化量子ドットを含む量子レーザダイオード増幅器よりなることを特徴とする波長多重光信号処理装置。

【請求項 6】 波長多重光信号を、活性層中に自己組織化量子ドットを含む光非線形素子中に導入する工程を含むことを特徴とする、波長多重光信号の再生方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は一般に半導体装置に関し、特に量子ドットを有する半導体装置を使って構成した、光信号の処理装置に関する。

【0002】長距離光通信においては、光ファイバ中を長距離にわたって伝送される光信号の波形の崩壊あるいは位相のずれを補償するために適当な間隔で中継点を設け、かかる中継点において光信号の再生を行なうことが行なわれている。かかる光信号の再生には、光信号中に含まれるクロックの抽出や、抽出されたクロックを使った光信号の再変調、さらにノイズ除去等の光信号処理が含まれる。

【0003】

【従来の技術】図 1 は従来より長距離波長多重大容量光通信系の中継点において使われている波長多重光信号再生装置 10 の概略的構成を示す。

【0004】図 1 を参照するに、入来波長多重光信号は波長の異なった複数のチャネル $CH_1 \sim CH_N$ を含み、前記光信号再生装置 10 は前記波長多重信号を供給され、これを各々のチャネルの光信号成分に分解する光デマルチプレクサ 10A と、前記各々のチャネルに対して設けられ、前記光デマルチプレクサ 10A で相互に分離された光信号成分に対して再生を行う光再生器 10B₁ ～ 10B_N と、前記各々の光再生器 10B₁ ～ 10B_N で再生された光信号成分を供給され、これを合成して再生された波長多重光信号を形成する光マルチプレクサ 10C とよりなる。

【0005】図 2 は、前記光再生器 10B₁ ～ 10B_N の構成を示す。ただし、前記光再生器 10B₁ ～ 10B_N の構成はいずれも同一であるため、図 2 には代表的な光再生器 10B₁ の構成のみを示し、その他の光再生器の説明は省略する。

【0006】図 2 を参照するに、前記光再生器 10B₁ は入来する光信号成分から、その中に含まれるクロック信号を光信号の形で抽出するクロック抽出部 10b₁ と、前記クロック抽出部 10b₁ において抽出された光クロック信号を供給される光再変調部 10b₂ とよりなり、前記光再変調部 10b₂ は前記入来光信号成分を直接に供給され、これにより前記クロック抽出部 10b₁ より供給される光クロック信号を変調することにより、

10

20

30

40

50

前記入来光信号成分の波形の崩壊や位相のずれの補償、さらにはノイズ除去等の処理を行い、再生光信号成分を形成する。

【0007】図2に示すように、前記クロック抽出部10b₁は実際には光パルス列を連続的に形成するモードロックレーザダイオード10c₁よりなり、形成する光パルス列の位相を入来する光信号成分中のクロックに同期させることにより、前記光クロック信号の抽出を行う。また、前記光変調部10b₂は実際には図2に示すようにレーザダイオード増幅器10c₂よりなり、前記入来光信号成分を供給され、これにより前記抽出された光クロック信号を光変調することにより、前記再生光信号成分を形成する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】図1、2に示す従来の光信号再生装置10は、このように入来する波長多重化光信号を、電気信号に変換することなく直接に再生することができ、構成が簡単である特徴を有する。しかし、それでもチャンネル数が100チャンネルあるいはそれ以上になると、必要な光再生器10B₁～10B_nの数が増大し、またこれに伴って複雑な多数の光導波路を形成する必要が生じる。さらにこのように多数の光導波路を使う場合、光導波路の光路長による光位相のずれを補償するために各々の光導波路に光位相補償器を設ける必要があるが、これらの光位相補償器を各々の光導波路の光路長に合わせて設計するのは非常に面倒である。

【0009】一方、図1、2に示す従来の光信号再生装置10では、前記光多重化信号を個々のチャンネルの光信号成分に分離せずに直接に再生した場合には、チャンネル間のクロストークにより光信号が相互に干渉を受け、所望の目的を達成することはできない。

【0010】そこで、本発明は上記従来の課題を解決した、新規で有用な波長多重光信号処理装置を提供することを概括的課題とする。

【0011】本発明のより具体的な課題は、入来する波長多重光信号を、個々のチャンネルに分離することなく再生できる波長多重光信号処理装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の課題を、請求項1に記載したように、第1の導電型を有する化合物半導体基板と、前記化合物半導体基板上に形成された量子半導体装置と、前記化合物半導体基板上に形成され、前記量子半導体装置に光学的に結合した第1の光導波路と、前記化合物半導体基板上に形成され、前記量子半導体装置に光学的に結合した第2の光導波路とよりなり、前記量子半導体装置は、前記化合物半導体基板上に形成された、前記第1の導電型を有する第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層上に形成された非ドープ活性層と、前記非ドープ活性層上に形成された第2の導電

型を有する第2のクラッド層と、前記化合物半導体基板に電氣的に接続された第1のオーミック電極と、前記第2のクラッド層に電氣的に接続された第2のオーミック電極とよりなり、前記第1の光導波路は前記活性層に光学的に結合し、入力端に供給された処理したい波長多重光入力信号を前記活性層に導波し、前記第2の光導波路は前記活性層に光学的に結合し、前記活性層で処理された波長多重光出力信号を出力端に導波し、前記非ドープ活性層は、前記第1および第2のクラッド層のいずれのバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する非ドープ化合物半導体層と、前記非ドープ化合物半導体層中に形成された、各々前記非ドープ化合物半導体層のバンドギャップよりも小さいバンドギャップを有する非ドープ化合物半導体材料よりなる複数の、相互に離間した量子ドットとよりなることを特徴とする波長多重光信号処理装置により、または請求項2に記載したように、前記複数の量子ドットの各々は、前記化合物半導体基板に対して歪ヘテロ系を形成する組成を有することを特徴とする請求項1記載の波長多重光信号処理装置により、または請求項3に記載したように、前記複数の量子ドットの各々是对応する光吸収波長帯域を有し、前記複数の量子ドットは全体として、連続的な光吸収波長帯域を有することを特徴とする請求項1または2記載の波長多重光信号処理装置により、または請求項4に記載したように、前記化合物半導体基板上には、さらに波長多重化連続波光信号を導波する第3の光導波路が、前記活性層に光結合して形成されていることを特徴とする請求項1～3のうち、いずれか一項記載の波長多重光信号処理装置により、または請求項5に記載したように、波長多重光入力信号を供給され、前記波長多重光入力信号から光クロック信号を抽出するクロック抽出部と、前記光クロック信号と前記波長多重光入力信号を供給され、前記光クロック信号を前記波長多重光入力信号で変調し、再生波長多重光入力信号を形成する光変調部とよりなる波長多重光信号処理装置において、前記クロック抽出部は、活性層中に複数の自己組織化量子ドットを含む量子レーザダイオードよりなり、前記光変調部は、活性層中に複数の自己組織化量子ドットを含む量子レーザダイオード増幅器よりなることを特徴とする波長多重光信号処理装置により、または請求項6に記載したように、波長多重光信号を、活性層中に自己組織化量子ドットを含む光非線形素子中に導入する工程を含むことを特徴とする、波長多重光信号の再生方法により、解決する。

【作用】本発明の発明者は、前記図1、2で説明した従来の波長多重光信号再生装置10において直接に波長多重光信号を再生した場合に生じるクロストークの原因を究明し、以下に説明する着想を得た。

【0013】図1、2で説明した従来の光信号再生装置10においては、前記レーザダイオード10c₁あるいはレーザダイオード増幅器10c₂として量子井戸活性

層を有する構成の素子を使っていた。

【0014】図3は、かかる量子井戸活性層の状態密度を示す。

【0015】図3を参照するに、周知のごとくかかる量子井戸活性層では状態密度は、伝導帯 E_c および価電子帯 E_v のいずれにおいても量子準位 L_{e1}, L_{e2}, \dots あるいは L_{h1}, L_{h2}, \dots に対応して階段状に変化し、キャリアは熱平衡状態では図3中、破線で示すフェルミ-ディラック分布に従って分布する。

【0016】ここでエネルギーが $h\omega$ の入射光が入射した場合、価電子帯の電子が伝導帯に励起されることにより吸収飽和が生じ、これに対応して一時的に吸収スペクトルに図4に示すようなディップが生じるが、これはキャリア-キャリア散乱により直ちに緩和されてしまい、当初の熱平衡分布、およびこれに対応した吸収スペクトルが、図4中破線に示すように回復する。緩和により回復した吸収スペクトルは、当初のディップをもはや含まない。この状況は、入射光の波長を変化させても同じで、従って異なった波長の光信号成分により量子井戸層中に同様な吸収スペクトルの変化が生じてしまう。

【0017】これがクロストークの原因であり、従って図2のレーザダイオード10c₁あるいはレーザダイオード増幅器10c₂の活性層に量子井戸層を使った従来の光信号再生器は、図1に示すように各チャネル毎に設ける必要があった。

【0018】これに対し、図5は3次元的にキャリアを閉じ込めたいわゆる量子ドットの状態密度を示す。

【0019】図4を参照するに、量子ドットでは状態密度はいわゆる δ 関数的な形状を有し、したがってキャリアは量子準位 L_{e1}, L_{e2}, \dots あるいは L_{h1}, L_{h2}, \dots に対応して、離散的に分布する。そこで、量子準位 L_{e1}, L_{h1} に同調された、エネルギーが $h\omega$ の入射光が入射した場合、吸収飽和はその波長のみにおいて生じ、他の波長においては生じない。換言すると、図2のレーザダイオード10c₁あるいはレーザダイオード増幅器10c₂の活性層に量子ドットを使った場合、他の波長とクロストークを生じることなしに光信号成分の再生を行なうことができる。

【0020】一方、図5よりわかるように量子ドットを活性領域に使った場合、量子ドットは単一の波長に同調するため、前記活性層中に、他の波長に対しては量子準位の異なった、換言すると大きさの異なった量子ドットを形成する必要がある。

【0021】本発明では、かかる波長多重化光信号に対応した波長をカバーするため、図6に示す歪ヘテロ系において生じる、自己組織化量子ドットを前記量子ドットとして使う。かかる自己組織化量子ドットは歪ヘテロエピタキシャル界面におけるS-K (Stranski-Krastanov) モード成長の結果形成されるが、個々の量子ドットのサイズが制御されないため、図7に示すように自然の

サイズ分布を有しており、全体として連続的な波長範囲で吸収スペクトルを有する。

【0022】図6を参照するに、GaAs基板1上には、GaAsバッファ層2を介して、例えばInAs等、前記GaAs基板1に対して格子整合しない組成のIII-V族化合物半導体層が、エピタキシャルに形成される。その際、このような格子不整合系では歪エネルギーの効果によりInAs層は島状に成長し、相互に孤立した直径が数nmから数十nm、高さが数nm程度の液滴状のパターン3bを形成する。

【0023】そこで、かかる液滴状パターン3b上にさらにGaAsよりなる中間層3aを堆積し、さらに前記中間層3a上に次の層のInAs液滴状パターン3bを形成する。このような工程を繰り返すことにより前記GaAs基板1に格子整合したGaAs中間層3b中に多数の相互に孤立したInAs液滴状パターン3bが分散した構造3が得られる。かかる構造3中において前記InAs液滴状パターン3bは先にも説明したように数nmから数十nmの直径と数nmの高さを有し、よりバンドギャップの大きいGaAs中間層3aにより3次元的に囲まれ、量子準位を特徴とする量子ドットを形成する。

【0024】図7は、図6のInAs/GaAs量子ドット構造3の概略的な光吸収スペクトルを示す。

【0025】図7を参照するに、かかる歪ヘテロ系における自己組織化量子ドットでは、各々の量子ドットは鋭い吸収スペクトルを有するものの、前記構造3中に大きさの異なった量子ドットが多数形成されるため、全体としては連続的な吸収スペクトルが得られる。

【0026】このようなInAs/GaAs量子ドット構造3に対して、チャネルjに相当する波長の光信号成分が供給された場合、図8に実線で示すように対応する量子ドットにおいて選択的に吸収飽和が生じ、光吸収スペクトル中に鋭いディップが出現する。その際、各々の量子ドットは先に図5で説明したような離散的な状態密度を有しているため、また各々の量子ドットが他の量子ドットから空間的に離間しているため緩和時間が非常に長くなり、図8中、実線で示す光吸収スペクトルは安定に保持される。

【0027】すなわち、図6で説明した歪ヘテロ系における量子ドットを含む構造3では、波長多重光信号を供給された場合、その吸収が各光信号成分で独立に生じるため、かかる構造3を図2の光再生器において、レーザダイオード10c₁あるいはレーザダイオード増幅器10c₂の活性層として使った場合、図1のような個々の光信号成分へのデマルチプレクシングを行うことなく、直接に波長多重光信号の再生処理が可能であることがわかる。

【0028】

【発明の実施の形態】[第1実施例]図9は、本発明の第

1実施例による波長多重光信号再生装置20の構成を示す。

【0029】図9を参照するに、光信号再生装置20は波長多重光入力信号を直接に供給され、光クロック信号を抽出するクロック抽出部20Aと、前記抽出された光クロック信号を前記波長多重光入力信号で変調する再変調部20Bとよりなり、前記再変調部20Bは前期光クロック信号の変調の結果、再生波長多重光信号を出力する。その際、図9に示すように、本実施例ではクロック抽出部20Aとして活性層中に先に図6で説明した自己組織化量子ドットを含むレーザダイオード20aを使い、また再変調部20Bとして、同様な自己組織化量子ドットを活性層中に含むレーザダイオード増幅器20bを使う。

【0030】図10(A)、(B)は、図9のレーザダイオード20aの構成を示す。ただし図10(A)は前記レーザダイオード20aの横断面図、一方図10(B)は軸方向に沿った縦断面図である。

【0031】図10(A)、(B)を参照するに、レーザダイオード20aはn型GaAs基板21上に形成されており、前記基板21上にエピタキシャルに形成された、組成が $Al_{1-x}Ga_xAs$ で表されるn型AlGaAsクラッド層22と、前記クラッド層22状にエピタキシャルに形成された活性層23と、前記活性層23上にエピタキシャルに形成され前記クラッド層22と実質的に同一の組成を有するp型AlGaAsクラッド層24とよりなる。前記p型クラッド層24はレーザダイオード20aの軸方向に延在するメサ構造を有し、前記メサ構造上にはp型のGaAsコンタクト層25を介してp型オーミック電極26が、また前記基板21の下面にはn型オーミック電極27が形成される。さらに図10のレーザダイオード20aでは、前記クラッド層24上、前記メサ構造の両側の位置にn型GaAsエピタキシャル層よりなる一対の電流狭搾領域28A、28Bが形成されている。

【0032】図10(B)に示すように、前記レーザダイオード20aは軸方向にミラー面M1、M2で画成された900 μ mの共振器長を有する光共振器を有し、また前記メサ構造(リッジ)は約3 μ mの幅を有する。

【0033】先に図6で説明したように、レーザダイオード20aにおいて前記活性層23は、非ドープGaAsエピタキシャル層よりなる複数の中間層23aの積層を含み、各々のGaAs中間層23a上には、前記GaAs基板21に対して歪ヘテロ系を形成する非ドープInAsよりなる自己組織化量子ドット23bが多数形成されている。図10(A)中、円で囲んだ拡大図を参照。前記再変調部20Bで使われるレーザダイオード増幅器20bも、実質的に同一の構成を有する。

【0034】前記クロック抽出部20Aでは、図10

(A)、(B)のレーザダイオード20aをモードロ

クレーザとして動作するように駆動し、図11(A)にスペクトルを示す多チャンネル波長多重化光入力信号から、図11(B)に示す多チャンネル光クロック信号を抽出する。

【0035】一方、前記再変調部20においては図10の(A)、(B)レーザダイオード20をレーザダイオード増幅器として駆動し、前記図11(B)の多チャンネル光クロック信号を図11(A)の光入力信号により変調し、その結果、図11(C)にスペクトルを示す再生波長多重光信号が得られる。

【0036】図12は、図10のレーザダイオードを前記再変調部20Bのレーザダイオード増幅器20bとして駆動した場合の利得特性を、様々な駆動条件に対して示す。ただし、図12の特性は、波長が1150nmでパルス幅が970fsの光パルスを使って求めたものである。

【0037】図12を参照するに、前記オーミック電極26、27を介して注入される駆動電流の値を0mAに設定した場合には透過率は低く、前記活性層23において光吸収が生じているが、入力光信号のエネルギーが1pJを超えると透過率が増加し始め、吸収飽和が生じていることがわかる。

【0038】これに対し、駆動電流を140mAに設定した場合には、入力光信号が存在しない場合は透過率が高く、大きな利得が得られている(入力光信号エネルギーが0.1pJで利得10dB)のに対し、0.1pJを超えるエネルギーの入力光信号が入来すると透過率が急激に減少し、利得飽和が生じることがわかる。例えば入力光信号エネルギーが5pJの場合、利得は5.3dBに減少する。

【0039】先に図7、8で説明したように、図10のレーザダイオード増幅器20bでは、前記活性層23中に大きさの異なった多数の自己組織化量子ドット23bが形成されており、かかる吸収飽和あるいは利得飽和は前記光信号成分毎に、実質的に独立に生じる。そこで、前記図11(B)に示す抽出された多チャンネル光クロック信号の他に、図11(A)に示す波長多重光入力信号を前記レーザダイオード増幅器20bに供給することにより、各チャンネル毎に、前記光クロックを対応するチャンネルの光信号成分により変調し、再生光信号成分を得ることができる。実際、図12の利得飽和特性は、先にも説明したように1150nmの波長についてのものではあるが、1130から170nmの範囲の波長に対しても、5nmの波長間隔で行なった実験の結果、成立することが確認されている。

【0040】図13(A)、(B)は、図9の波長多重光信号再生装置20のそれぞれ平面図および図13

(A)中の線A-A'に沿った断面図を示す。

【0041】図13(A)を参照するに、前記波長多重再生装置20は前記n型GaAs基板21上に形成され

ており、図13(B)に示す層構造を有する導波路パターン20₁、20₂および20₃を含み、図11(A)に示す前記波長多重光入力信号は前記導波路パターン20₁に供給される。前記波長多重光入力信号においては、さらにこれに続く導波路パターン20₂中を導波される際に、前記活性層23中に前記クロック再生部20aおよび再変調部20bに対応して形成されたInAs量子ドット23bの作用により、先に説明したクロック抽出および再生がなされ、その結果得られた図11(C)に示す再生波長多重光信号は、前記導波路パターン20₃中をその出力端に向かって導波される。

【0042】前記導波路パターン20₂中には、前記クロック抽出部20aに対応して前記p型オーミック電極26に対応するp型オーミック電極26aが形成されており、また前記再生部20bに対応して同様なp型オーミック電極26bが形成されている。一方、前記GaAs基板21の下面には、前記n型オーミック電極27が一樣に形成されている。また、前記クロック抽出部20aにおいては前記導波路20₂中にミラー面M1、M2を形成する溝が形成され、前記ミラー面M1、M2はレーザダイオードの光共振器を画成する。

【0043】さらに、前記導波路パターン20₁からは別の導波路パターン20₄が分岐し、供給された波長多重光入力信号を前記再生部20bを構成するレーザダイオード増幅器20bに供給する。

【0044】かかる構成により、共通のGaAs基板21を使い、基板21に対して一体的な波長多重光信号再生装置20を形成することが可能である。本実施例による波長多重光信号再生装置20は、入来する波長多重光信号を個々のチャンネルの光信号成分に分解することなく直接に再生することができるため、図1、2に示す従来の波長多重光信号再生装置10に比べて構成が著しく簡単になる。

【第2実施例】図14(A)は、本発明の第2実施例による、自己組織化量子ドットを使った波長多重光信号のノイズカットフィルタ30を、また図14(B)は前記ノイズカットフィルタ30の透過率Tを示す。

【0045】図14(A)を参照するに、前記ノイズカットフィルタ30は、先に図10(A)、(B)で説明したレーザダイオード20aと同様な構造を有し、入射側導波路30Aを介して前記活性層23に波長多重光入力信号を供給され、前記活性層23中において前記波長多重光信号を処理する。処理された波長多重光信号は出射側導波路30Bに出射される。その際、前記ノイズカットフィルタ30はゼロないし非常に低い駆動電流で駆動され、その結果かかるノイズカットフィルタ30は先に図12で説明したように、低駆動電流条件下では吸収飽和を示す。

【0046】図14(B)は、かかる低駆動電流下において前記ノイズカットフィルタ30が示す透過率特性を

示す。ただし、図14(B)は、先の図12よりも入射光パワーがより大きい範囲を図示している。

【0047】図14(B)を参照するに、波長多重入射光信号中に含まれるノイズは光パワーが小さいため前記ノイズカットフィルタ30を通過することができず、大きなパワーの光信号が入来した場合のみ、前記ノイズカットフィルタ30は前記波長多重光信号を通過させる。

【第3実施例】図15は、本発明の第3実施例による波長多重光信号再生装置40の構成を示す。

【0048】図15を参照するに、本実施例による光信号再生装置40は先に図10(A)、(B)で説明したのと同様な吸収飽和素子41を有し、前記吸収飽和素子41には前記波長多重光信号の各チャンネルに対応した複数の波長の各々において連続波を形成する多波長CW光源42から、第1の光導波路41Aを介して多波長連続光が供給される。さらに波長多重光入力信号が光導波路41Cに供給され、これが光サーキュレータ43を介して前記吸収飽和素子41に、別の光導波路41Bを介して供給される。

【0049】前記吸収飽和素子41はゼロバイアス条件あるいは低バイアス条件下で駆動されており、その結果、前記吸収飽和素子41中においては吸収飽和の結果、前記多波長連続光が前記波長多重光入力信号により変調され、再生波長多重光信号が形成される。形成された前記再生波長多重光信号は、前記光導波路41Bを逆方向に伝送され、前記光サーキュレータ43を通った後、出力側の光導波路41Dに出力される。

【0050】本実施例の構成においても、自己組織化量子ドットを含む半導体構造41を非線形光学素子として使うことにより、波長多重光信号中の各々のチャンネルの光信号成分を、相互に分離することなく再生することができる。

【第4実施例】図16は本発明の第4実施例による波長多重化光信号再生装置60の構成を示す。

【0051】図16を参照するに、前記光信号再生装置60は、共通の多波長CW光源から光導波路611、を介して多波長連続光をそれぞれ供給される、各々図10(A)、(B)に示す活性層中に複数の自己組織化量子ドットを含む構成の第1および第2の非線形光学素子61A、61Bを含み、前記非線形光学素子61Aにはさらに前記波長多重化光入力信号が供給され、その結果、前記非線形光学素子61A中においては、前記多波長連続光の相互位相変調が、前記非線形光学素子61B中の多波長連続光に対して生じる。さらに、前記非線形光学素子61A、61Bから出力された光信号は、共通の出力側光導波路61₂において合波され、その結果、変調された光信号、すなわち再生波長多重化光信号のみが、前記出力側光導波路61₂に出力される。

【第5実施例】図17は、本発明の第5実施例による波長多重光信号再生装置80の構成を示す。

【0052】図17を参照するに光信号再生装置80は、先に図10(A)、(B)で説明したのと同様な構成を有し多波長連続光と波長多重光入力信号とを供給され、その際に生じる利得飽和を使って前記多波長連続光を前記波長多重光信号により変調する量子ドットレーザダイオード増幅器81を有する。前記量子ドットレーザダイオード増幅器81は前記変調の結果、前記波長多重光入力信号に対応した波長多重光信号を形成し、これを多波長CW光源から多波長連続光を供給される別の量子ドットレーザダイオード増幅器82に供給する。その結果、前記量子ドットレーザダイオード増幅器82中においては、前記多波長連続光が前記量子ドットレーザダイオード増幅器81の出力光信号により位相変調される。

【0053】前記多波長連続光は、さらに別の量子ドットレーザダイオード増幅器83にも供給されており、前記量子ドットレーザダイオード増幅器83の出力光と前記量子ドットレーザダイオード増幅器82の出力光とを合波することにより、再生波長多重光信号が得られる。

【0054】本実施例において、前記量子ドットレーザダイオード増幅器81～83としては、先に図10(A)、(B)に示した構成のものを使うことができる。

【0055】また、図10(A)、(B)の構成において、前記活性層23の構成は先に説明したInAs/GaAs量子ドットに限定されるものではなく、以下の表1に示す材料の組み合わせを使うことも可能である。

【0056】

【表1】

| 基板 | ドット材料 |
|----------|----------|
| GaAs | In(Ga)As |
| InP | In(Ga)As |
| GaAs | GaSb |
| GaAs | GaInP |
| Sapphire | In(Ga)N |
| SiC | In(Ga)N |
| InGaAs | In(Ga)As |
| Si | (Si)Ge |

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載の要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【0057】

【発明の効果】請求項1～7記載の本発明の特徴によれば、歪ヘテロ系において出現する自己組織化量子ドットを使った非線形光半導体装置を使うことにより、波長多重光信号の処理を、個々のチャンネルの光信号成分に分離

することなく、直接に行なうことが可能になり、光信号再生装置等の波長多重光信号処理装置の構成が非常に簡単になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の波長多重光信号再生装置の構成を示す図である。

【図2】図1の光信号再生装置中の一チャンネル分の構成を示す図である。

【図3】通常の量子井戸における状態密度の概略を示す図である。

【図4】図の構成において通常の量子井戸を活性層として使った場合の光吸収特性を示す図である。

【図5】量子ドットにおける状態密度の概略を示す図である。

【図6】本発明の原理を示す図である。

【図7】図6の量子ドット構造が示す全体的な光吸収スペクトルを示す図である。

【図8】チャンネルjの入射光が入来した場合の図7の光吸収スペクトルの変化を示す図である。

【図9】本発明の第1実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図である。

【図10】(A)、(B)は、図9の光信号再生装置中において使われる、自己組織化量子ドットを有するレーザダイオードの構成を示す図である。

【図11】(A)～(C)は、図9の光信号再生装置における光信号処理に伴う波長多重光信号のスペクトルを示す図である。

【図12】図11(A)、(B)の量子ドットレーザダイオードの透過率と入力光パワーとの関係を示す図である。

【図13】(A)、(B)は、図9の波長多重光信号再生装置を示すそれぞれ平面図および断面図である。

【図14】(A)、(B)は、本発明の第2実施例による光ノイズカットフィルタを示す図である。

【図15】本発明の第3実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図である。

【図16】本発明の第4実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図である。

【図17】本発明の第5実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図である。

【符号の説明】

1 基板

2 バッファ層

3 活性層

3a 中間層

3b 量子ドット

10、20、40、60、80 波長多重光信号再生装置

10A デマルチプレクサ

10B、10B₁～10B_n 光信号再生器

10C マルチプレクサ

10c₁, 20a モードロックレーザダイオード
 10c₂, 20b 光増幅器
 20₁~20_n, 30A, 30B, 41A~41D, 61
 1, 61, 光導波路
 20A クロック抽出部
 20B 再変換部
 21 基板
 22, 24 クラッド層
 23 活性層
 23a 中間層

*23b 量子ドット
 25 コンタクト層
 26, 26a, 26b, 27 オーミック電極
 28 電流狭搾層
 30 光ノイズカットフィルタ
 41, 61A, 61B, 81~83 量子ドット非線形
 光半導体装置
 42 多波長CW光源
 43 光サーキュレータ

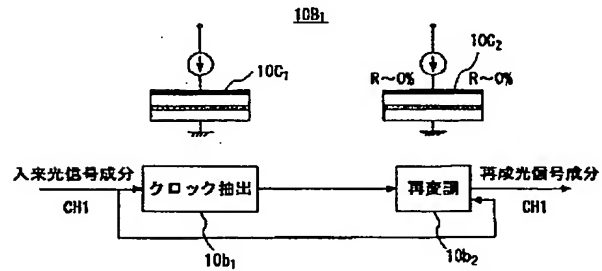
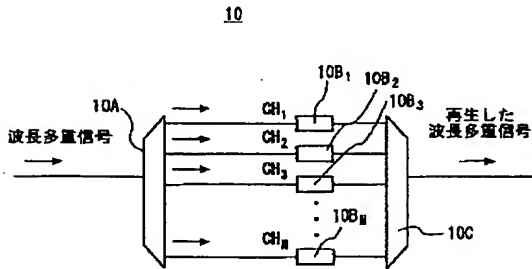
*10

【図1】

【図2】

従来の波長多重光信号再生装置の構成を示す図

図1の光信号再生装置中の一チャネル分の構成を示す図

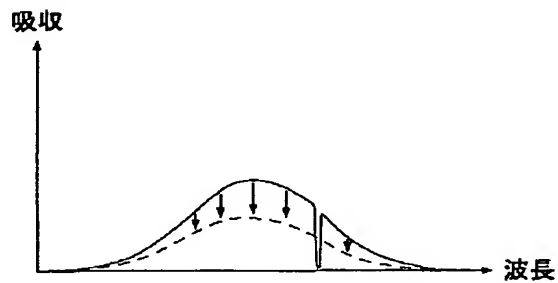
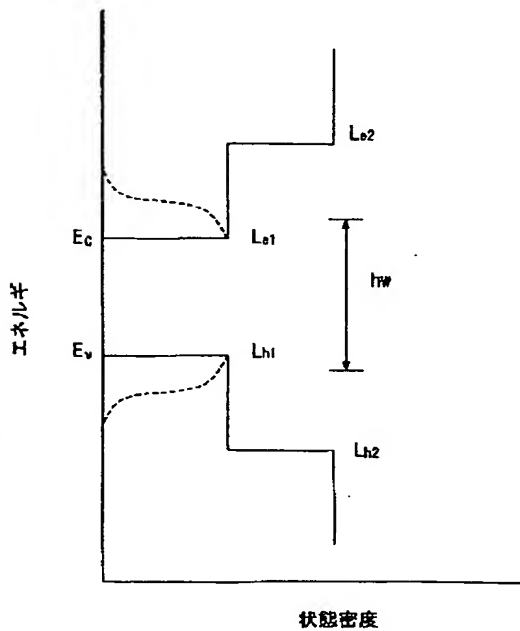


【図3】

【図4】

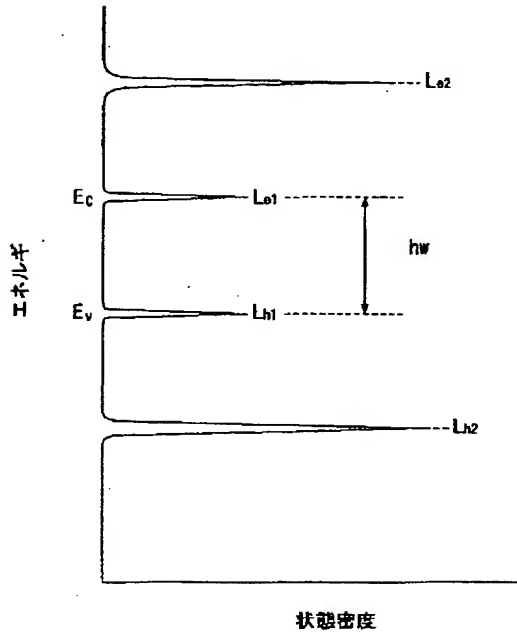
通常の量子井戸における状態密度の概略を示す図

図の構成において通常の量子井戸を活性層として使った場合の光吸収特性を示す図



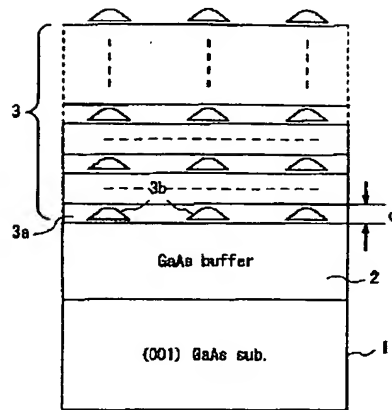
【図5】

量子ドットにおける状態密度の概略を示す図



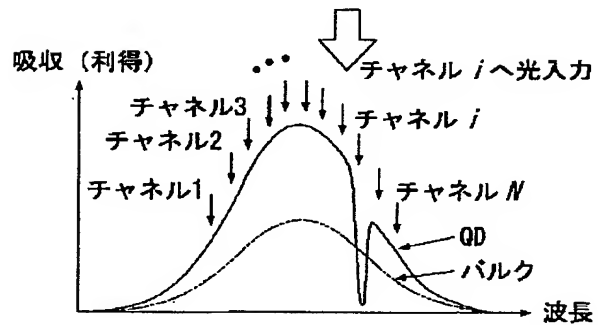
【図6】

本発明の原理を示す図



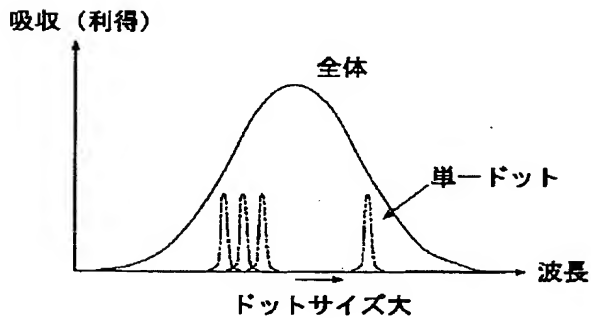
【図8】

チャンネルjの入射光が入射した場合の図7の光吸収スペクトルの変化を示す図



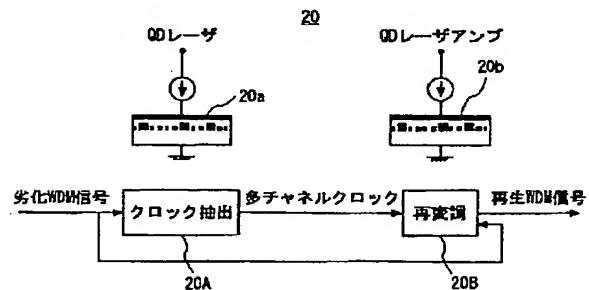
【図7】

図6の量子ドット構造が示す全体的な光吸収スペクトルを示す図



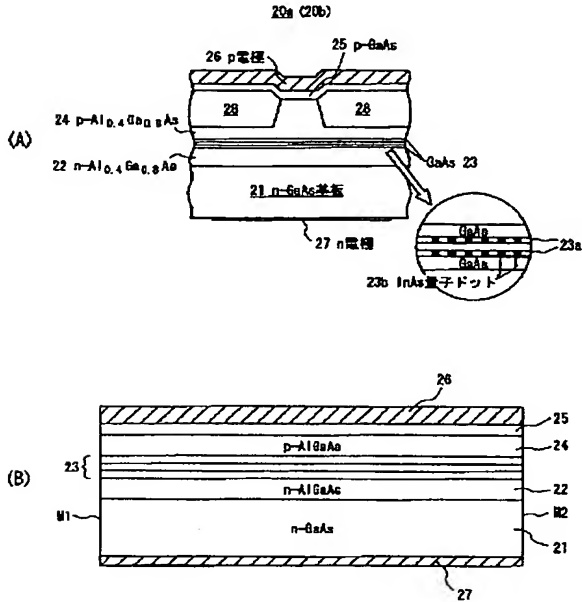
【図9】

本発明の第1実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図



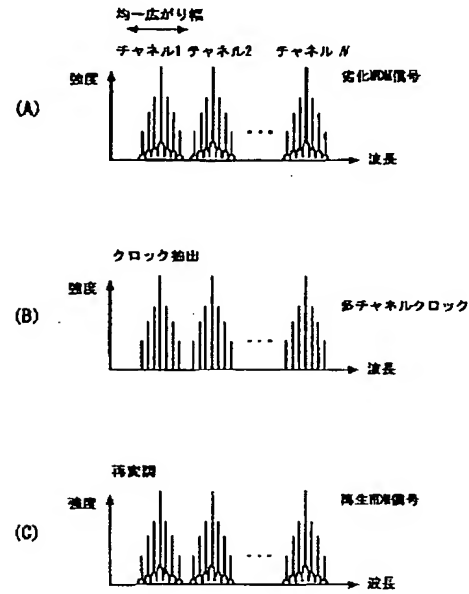
【図10】

(A)、(B)は、図9の光信号再生装置中において使われる、自己組織化量子ドットを有するレーザダイオードの構成を示す図



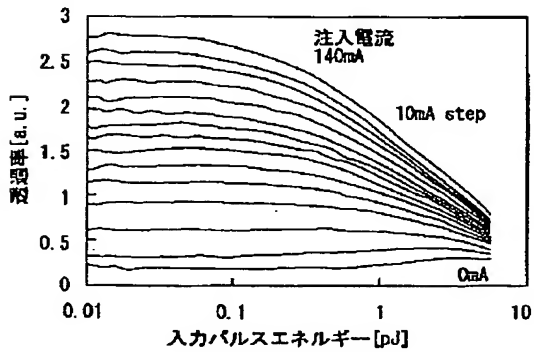
【図11】

(A)～(C)は、図9の光信号再生装置における光信号処理に伴う波長多重光信号のスペクトルを示す図



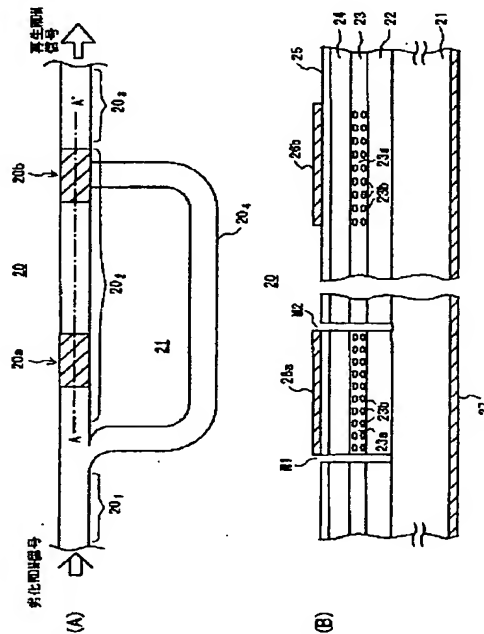
【図12】

図11 (A)、(B)の量子ドットレーザダイオードの透過率と入力光パワーとの関係を示す図



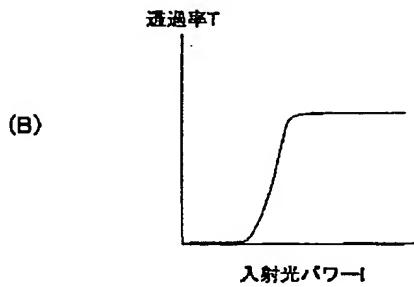
【図13】

(A)、(B)は、図9の波長多重光信号再生装置を示すそれぞれ平面図及び断面図



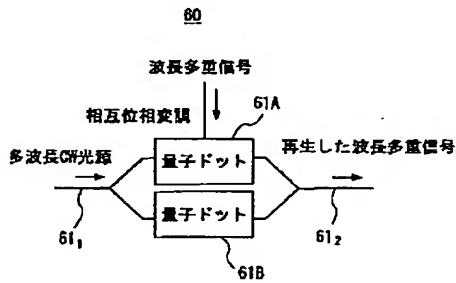
【図14】

(A)、(B)は、本発明の第2実施例による光ノイズカットフィルタを示す図



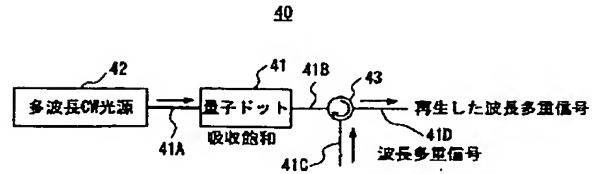
【図16】

本発明の第4実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図



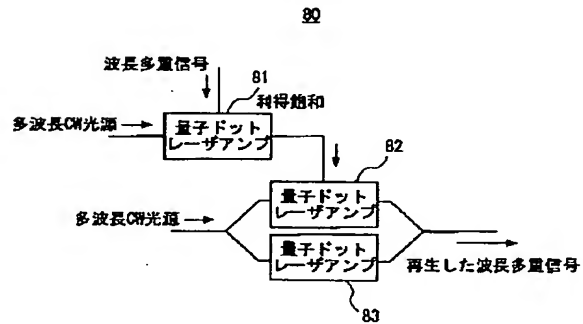
【図15】

本発明の第3実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図



【図17】

本発明の第5実施例による波長多重光信号再生装置の構成を示す図



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

テーマコード (参考)

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

E

H 0 4 J 14/00

14/02

F ターム(参考) 2H079 AA08 AA13 AA14 BA01 CA09
DA16 EA05 EA07 EA08 KA18
2K002 AA02 AB09 BA02 CA13 DA08
EA08 EA28 HA13
5F073 AA11 AA13 AA75 AB25 BA03
CA07
5K002 AA06 BA07 CA12 DA02